

Odnos recentnog strukturnog sklopa i speleoloških i krških objekata u području Ravne Gore

Gajšak, Filip

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:708744>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-06**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij geološkog inženjerstva

**ODNOS RECENTNOG STRUKTURNOG SKLOPA I SPELEOLOŠKIH I KRŠKIH
MORFOLOŠKIH OBJEKATA U PODRUČJU RAVNE GORE**

Diplomski rad

Filip Gajšak

GI-183

ZAGREB, 2016.

Zahvala...

...mentoru prof. dr.sc. Ivanu Dragičeviću na predloženoj temi, strpljenju, kritikama i stručnom suradniku Ivici Pavičiću na velikoj pomoći pri izradi diplomskog rada. Članovima komisije, prof. dr. sc. Davoru Paveliću i doc. dr. sc. Željku Duiću na konstruktivnim kritikama, savjetima i prijedlozima pri izradi rada.

... obitelji na podršci

**ODNOS RECENTNOG STRUKTURNOG SKLOPA I SPELEOLOŠKIH I KRŠKIH
MORFOLOŠKIH OBJEKATA U PODRUČJU RAVNE GORE**

FILIP GAJŠAK

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak: Diplomski rad sadrži geološko, hidrogeološko i geomorfološko istraživanje modernim metodama s ciljem definiranja u regionalnom mjerilu geološke i hidrogeološke značajke područja Ravne gore. Glavni izvori podataka su OGK listovi Rogatec i Varaždin mjerila 1:100 000, topografske karte listovi Varaždin i Ptuj mjerila 1:100 000, digitalni elevacijski model (DEM) s rezolucijom 10 m i do sada objavljeni radovi. Podaci su obrađeni računalnim program ArcGis 10. Analiza je obuhvaćala izradu 3D geološke i 3D hidrogeološke karte istražnog područja te na temelju profila izradu modela podzemlja. Izdvojene su lokacije vrtača, izvora i speleoloških objekata. Na temelju listova OGK – Rogatec i Varaždin interpretirani su rasjedi i njihov utjecaj na tok podzemene vode.

Ključne riječi: Gorski vodonosnici, speleološke pojave, tektonika, Ravna Gora, ArcGIS,

Diplomski rad sadrži: 35 stranica, 13 slika, 1 tablica i 24 literaturnih referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Prof. dr. sc. Ivan Dragičević, redoviti profesor RGNF-a u Zagrebu

Pomoć pri izradi: Ivica Pavičić, mag. ing. geol.

Ocjenjivači: Prof.dr. sc. Ivan Dragičević

Prof. dr. sc. Davor Pavelić

Doc. dr. sc. Željko Duić

Datum obrane: 19.02.2016.

**RELATION BETWEEN RECENT STRUCTURAL SET AND SPELEOLOGICAL AND
KARST MORPHOLOGICAL OBJECTS IN RAVNA GORA**

FILIP GAJŠAK

Master Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Institute of Geology and Geological Engineering,
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract: This Master thesis includes geological, hydrogeological and geomorphological study with modern methods in order to define the regional scale of geological and hydrological features in Ravna Gora. The main source of data were Basic Geological Map sheets Rogatec and Varaždin are sinkholes scale of 1 : 100,000 , topographic maps sheets Varaždin and Ptuj scale of 1 : 100 000 , and a Digital Elevation Model (DEM) with a resolution of 10 m. Data were processed by software ArcGIS 10. The analysis included the construction of 3D geological and 3D hydrogeological maps of the study area, and based on the profiles construction of a subsurface model. From topographic sheets were singled out locations of springs, sinkholes and caves. Based on Basic Geological Map, sheets Rogatec and Varaždin were interpreted faults and their impact on the flow of ground water.

Key words: Mountain aquifers, speleological features, tectonics, Ravna Gora, ArcGIS

Thesis contains: 35 pages, 13 figures, 1 table, and 24 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: PhD. Ivan Dragičević, Professor, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Zagreb

Technical support: Ivica Pavičić

Reviewers: PhD. Ivan Dragičević, Professor
PhD. Davor Pavelić, Professor
PhD Željko Duić, Assistant Professor

Date od defense: 19.02.2016.

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. Uvod..... | 1 |
| 2. Geografske i klimatske značajke..... | 2 |
| 3. Geomorfološke značajke..... | 5 |
| 4. Geološke značajke..... | 7 |
| 4.1. Mezozoik..... | 7 |
| 4.1.1. Trijas..... | 7 |
| 4.1.2. Jura..... | 9 |
| 4.1.3. Kreda..... | 10 |
| 4.2. Neogen..... | 10 |
| 4.2.1. Eger-Egenburg..... | 10 |
| 4.2.2. Gornji baden..... | 11 |
| 4.2.3. Sarmat | 11 |
| 4.2.4. Panon | 12 |
| 4.3. Pliokvartar..... | 13 |
| 4.4. Kvartar..... | 13 |
| 5. Hidrogeološke značajke | 17 |
| 5.1. Trijaski dolomitno vapnenački vodonosnik..... | 17 |
| 5.2. Badenski karbonatno klastični kompleks..... | 19 |
| 6. Opis recentnog strukturnog sklopa..... | 23 |
| 7. Metode interpretacije recentnog strukturnog sklopa..... | 23 |
| 7.1. Geomorfologija, rasjedi i položaji vrtača, izvora i speleoloških objekata..... | 24 |
| 8. Lokalno mjerilo, mjerilo izdanka, pukotine i manji rasjedi..... | 29 |
| 8.1. Primjeri povezanosti tektonike i speleoloških objekata..... | 31 |
| 9. Zaključak..... | 34 |
| 10. Literatura..... | 35 |

Popis slika

| | |
|---|----|
| Slika 2-1. Geografski položaj Ravne Gore..... | 2 |
| Slika 2-2. Geografski položaj i digitalni model reljefa Ravne Gore..... | 3 |
| Slika 3-1. Potok Kamenica..... | 5 |
| Slika 4-1. Geološka karta Ravne gore mjerila 1:50000 (OGK - Rogatec ; Aničić, Juriša, 1983.) i (OGK – Varaždin; Šimunić, Pikija, Hećimović, 1987)..... | 14 |
| Slika 4-2. Geološki profili Ravne Gore (DRAGIČEVIĆ, 2002.)..... | 15 |
| Slika 4-3. Geološki stup Ravne Gore (Osnovna geološka karta – list Varaždin; ŠIMUNIĆ et al. 1982.)..... | 16 |
| Slika 5-1. Hidrogeološka karta Ravne Gore, mjerila 1:50000..... | 20 |
| Slika 5-2. Hidrogeološki profili Ravne Gore (DRAGIČEVIĆ, 2002.)..... | 21 |
| Slika5-3. Hidrogeološki stup Ravne Gore (ŠIMUNIĆ et al., 1982.)..... | 22 |
| Slika 7-1. Istražno područje Ravne Gore i položaj vrtača, izvora i speleoloških objekata. | 26 |
| Slika 8-1. Recentni strukturni sklop Ravne Gore..... | 30 |
| Slika 8-2. Skica “Pop-up” structure (GONZALEZ et al., 2012)..... | 31 |
| Slika 8-3. Glavne izdignute strukture..... | 33 |

Popis tablica

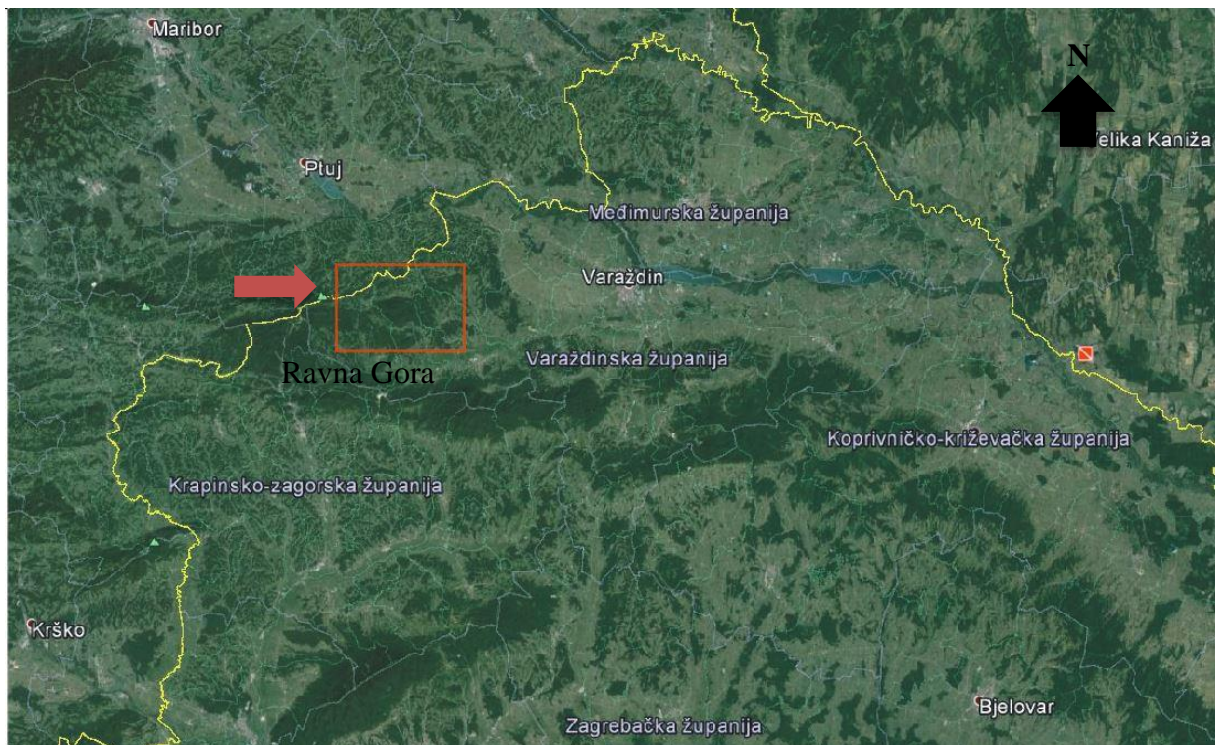
| | |
|--|----|
| Tablica 7-1. Popis speleoloških objekata Ravne Gore (OZMEC i ŠINKEC, 2008.)..... | 27 |
|--|----|

1. Uvod

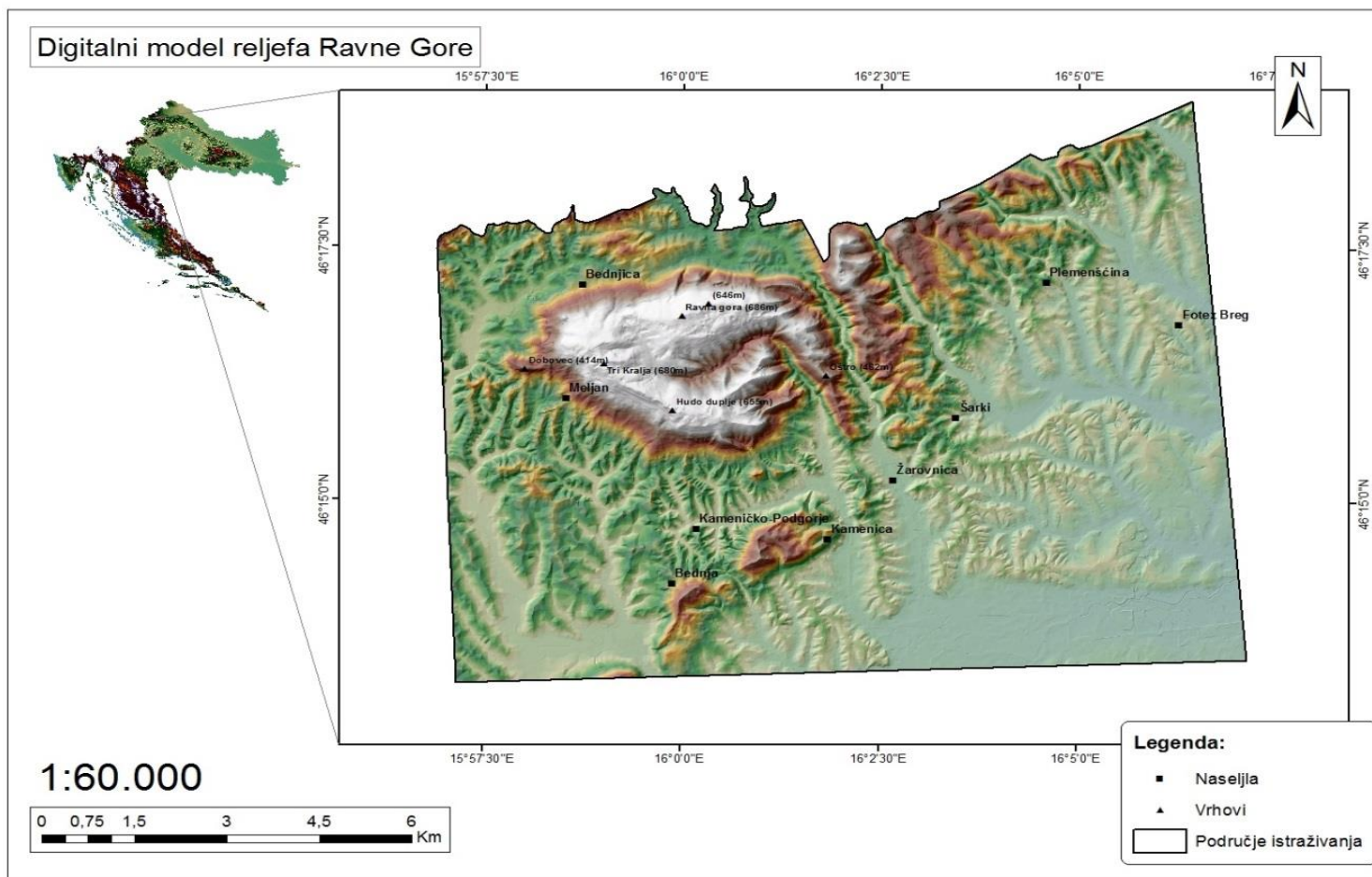
Područje Ravne gore izgrađuju dominantno vapnenci i dolomiti srednjeg i gornjeg trijasa koje predstavljaju i regionalno značajne vodonosnike. Gorski vodonosnici, pogotovo dolomiti, karakterizirani su sekundarnom poroznosti, a u manjoj mjeri pojavljuju se i terciarna (krška) i primarna poroznost. Nužan uvjet za razvoj sekundarne poroznosti je tektonska poremećenost stijena. Gorski vodonosnici područja Ravne Gore uglavnom su srednje i gornjotrijaski dolomiti koji su intenzivno tektonizirani kroz geološku prošlost. Značajniji rasjedi i rasjedne zone, pogotovo recentni, imaju veliki utjecaj na regionalni tok podzemne vode. Da bi mogli pretpostaviti smjerove toka podzemne vode potrebno je i što realnije interpretirati recentni strukturni sklop. Rezultat recentne tektonske aktivnosti je i današnja morfologija površine terena, pojave nekih izvora, ponora, vrtača i pojave špilja i jama. Ovim se diplomskim radom pokušalo dati interpretaciju recentnog strukturnog sklopa na temelju dosad objavljenih istraživanja, analize morfologije na digitalnom modelu reljefa, i prostornog rasporeda i orijentacija špilja i jama, te prostorne raspodjele vrtača i izvora. Interpretirane su dvije „pop-up“ strukture te glavni rasjedi strukturnog sklopa. Daljnja istraživanja trebala bi se usmjeriti na terensku potvrdu predložene interpretacije, te procjene uloge rasjeda u regionalnom toku podzemne vode.

2. Geografske i klimatske značajke

Istraživano područje čini dio Hrvatskog zagorja, u sjeverozapadnom dijelu Republike Hrvatske, površine 111 km² (Slika 2-1.). Obuhvaća područje Ravne gore, koja se nalazi sjeverno od Ivanščice te istočno od Maceljske gore. Od većih naselja i gradova ističu se Varaždin na istoku, Krapina na jugu, Ivanec na jugoistoku. Zapadnu i južnu granicu područja istraživanja čini rijeka Bednja a istočnu granicu rijeka Voća.



Slika 2-1. Geografski položaj Ravne gore (Google Earth)



Slika 2-2. Geografski položaj i digitalni model reljefa Ravne gore

Prema ŠIMUNIĆ, (2006), područje Hrvatskog zagorja morfološki je obilježeno blagim brežuljcima, prosječnih nadmorskih visina od 300 do 400 metara. Između tih brežuljaka se ističu uski i dugački gorski nizovi, koji se protežu od zapadne granice sa Slovenijom do Podravine. Područje Ravne gora ima obilježja umjerene kontinentalne klime središnje Hrvatske. Sa sjeverozapada Alpama je zaštićena od utjecaja Atlanske klime, a s juga, k Dinaridima od utjecaja sredozemne klime (OZIMEC & ŠINCEK, 2009). Godišnja količina oborina je od 1000 do 1200 mm, a oborine su intenzivnije u vegetacijskom razdoblju. Srednja ljetna temperatura zraka je 20 °C, a srednja zimska oko 3 °C. Snijeg pada od kraja studenog do ožujka, no zadržava se kratko. U jesen i zimi su uz vodotoke zbog velike količine vlage u zraku česte magle (OZIMEC & ŠINCEK, 2009).

3. Geomorfološke značajke

Ravna gora je najsjevernija planina Hrvatskog zagorja i cijele Hrvatske, najviši vrh iznosi 686 metara, te ima ime kao sam masiv Ravna gora. Uzdiže se sjeverno od Ivanšćice, te se proteže od dvorca Trakošćan na jugozapadu do sela Donja Voća na sjeveroistoku, u dužini od oko 13 km i dalje prema Vinici, gdje tone pod dravsku ravnicu. (OZIMEC & ŠINCEK, 2009) Područje Ravne gore se nalazi između rijeka Drave i Save, te je bogato površinskim vodotocima.

Masiv se geomorfološki može podijeliti na šest dijelova (OZIMEC & ŠINCEK, 2008).

Prvi dio je najzapadniji i najviše uzdignut te iz njega dubokim prodorom teče potok Kamenica. U ovom području Ravne gore nalaze se vrhovi Babice (548 m), Hudo duplje (655 m), Tri Kralja (680 m), najviši vrh Ravna gora (686 m) i Oštro (462 m) (Izrada speleološkog i biospeleološkog katastra Ravne Gore; OZIMEC & ŠINCEK, 2008.)



Slika 3-1. Potok Kamenica

(https://www.google.hr/search?q=potok+Kamenica&espv=2&biw=1680&bih=949&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwihorWno6LKAhWFiywKHZ3CDQQ_AUIBygC#imgrc=0gUMr72DqH_HKWM%3A)

Drugu cjelinu čini područje Velikog i Malog Goranca s vrhovima Lapernjak (389 m), Lengešica (419 m) i Kukelj (521 m). Ovo područje je omeđeno s dva duboka kanjona Velika i Mala Sotinska.

Treći dio masiva Ravne gore čini područje Vukovoj, a odvojeno je prodorima Male Sotinske i Reke Voćanske. Najviši vrhovi su Babjak (480 m) i Sv. Vuk (473 m).

Četvrti dio masiva Ravne Gore čini područje između Reke Voćanske i potoka Šokot. Na ovom području se izdvaja vrh Breza (409 m).

Peti dio je izdvojen potocima Šokot i Voća, a značajniji vrhovi su Krsnjakov breg (378 m) i Furkov breg (354 m).

Zadnji, šesti dio čini područje u kojem Ravna gora gubi svoja gorska obilježja te tone pod aluvijalne naslage rijeke Drave nastavljajući se u Panonsku ravan. (Izrada speleološkog i biospeleološkog katastra Ravne Gore; OZIMEC & ŠINCEK, 2008)

4. Geološke značajke

Istraživano područje obilježeno je s 12 geoloških stratigrafskih jedinica u rasponu od trijasa do recentnih aluvijalnih i proluvijalnih sedimenata. Geološka građa područja Ravne gore prikazana je na geološkoj karti (Slika 4-1) koja je načinjena na temelju Osnovne geološke karte mjerila 1:100 000, listova Rogatec (Aničić & Juriša, 1983) i Varaždin (Šimunić et al., 1982), geološkim profilima (Slika 4-2) te geološkom stupu (Slika 4-3), a opis geoloških jedinica načinjen je na temelju tumača listova Osnovne geološke karte, Rogatec (Aničić & Juriša, 1983.) i Varaždin (Šimunić et al., 1982).

4.1. MEZOZOIK

4.1.1. Trijas (T)

Od stijena trijaskе starosti u području Ravne gore prisutne su stijene donjeg (T_1), srednjeg (T_2) i gornjeg trijasa (T_3). Kroz cijelo razdoblje trijasa, na današnjem prostoru Hrvatskog zagorja vladali su promjenjivi plitkomorski sedimentacijski uvjeti. Tijekom donjeg trijasa sedimentacija se odvijala u priobalnom području, a tijekom srednjeg i gornjeg trijasa sedimentacija prevladava na karbonatnoj platformi. (Šimunić & Hećimović, 2006)

ŠIMUNIĆ et al. (2006) su na temelju velikog broja interpretiranih bora dokazali da je veći dio trijaskih sedimenata u području Hrvatskog zagorja prekriven pod karbonatima i klastitima neogenske starosti.

Donji trijas (T_1)

Sedimenti donjeg trijasa, prema tumaču Osnovne geološke karte – list Varaždin (ŠIMUNIĆ, et al., 1982) nalaze se na površini u središnjem dijelu Ravne gore. Zbog različite debljina naslaga u različitim područjima (u području Ravne gore, oko 200 metara), nije izvršena podjela na *sajske* i *kampilske* naslage. Donji dio slijeda donjotrijaskih naslaga izgrađen je izmjenama crvenosmeđih, sivih i žutih, tinjčastih pješčenjaka, silita i šejlova, a pojavljuju se i oolitični vapnenci i lapori. Pješčenjaci su subarkoze i protokvarciti. Gornji dio slijeda donjotrijaskih naslaga čine tamnosivi, pločasti i tankouslojeni vapnenci s prosljocima šejlova, oolitičnih vapnenaca i dolomita. Debljina ne prelazi 250 metara. Mjestimične su i pojave ostataka fosila. U pješčenjacima su česti ostaci i kamene jezgre školjaka: *Myacites fassaensis*, *Pseudomonotis clarai*. U mlađim

karbonatnim slojevima su nađeni: *Myophora costata*, *Natiria costata*. U vapnencima su nađene foramenifere.

Srednji trijas (T₂)

Najznačajniji i najzastupljeniji litološki član srednjeg trijasa u području Ravne Gore su tamnosivi dolomiti. Uzrok sive boje na dolomitu je organska tvar. (ŠIMUNIĆ et al. 2006) Anizik je utvrđen isključivo superpozicijski, dok ladinik obilježavaju tanke zone i leće fosilifernih vapnenaca i klastita. Naslage anizika čine svijetlosivi i sivi pretežito gromadasti vapnenci, dolomitizirani vapnenci i dolomiti s neodredivim ostacima fosila. U srednjem trijasu su još zastupljeni tamnosivi pločasti vapnenci i laporoviti vapnenci, lapori, šejlovi i zelenkasto obojeni piroklastiti. Sedimentološke analize pokazale su da se mogu razlikovati dolomiti sa sačuvanim reliktima struktura prvobitnih vapnenih stijena mikritnog i kalkarenitnog tipa. Sadržaj CaCO₃ komponente u kalcitičnim dolomitima najčešće se kreće do 10 %, a vrlo rijetko doseže i do 30 %.

Vapnenci iz karbonatno-klastičnih zona određeni su kao mikriti, biomikriti i intrabiospariti. Negdje je vidljiva dolomitizacija i silifikacija, a neki su pjeskoviti. Crvena boja vapnenaca potječe od željezovite supstance. Srednjotrijajske piroklastične stijene, poznate i pod nazivom „*pietra verde*“ odeređene su kao izmjenjeni kristaloklastiti i kristalovitrklastični tufovi, tufni peliti i vapnoviti tufovi.

Tijekom srednjeg trijasa pretežno se taložio plitkovodni karbonatni mulj čiji je postanak vezan za veliku trijasku karbonatnu platformu. Ove stijene su kasnije dolomitizirane, a na temelju fosila i superpozicije mogu se podijeliti na anizičke i ladinčke. Dolomiti i vapnenci anizičke starosti formiraju većinu „planinskog lanca“ Ivanščica – Strahinjčica – Ravna gora – Koštrun (ŠIMUNIĆ et al., 1997, 2006). U aniziku dolazi do promjene u sedimentaciji iz plitkovodnih karbonata s dubokovodnim klastičnim i vulkanskim naslagama te su takve stijene prisutne u svim planinama Hrvatskog zagorja. Do danas, kontinuirani slijed sedimentacije od donjeg trijasa do anizika vidljiv je samo na području Ravne gore dok se na drugim gorama ne može odrediti zbog tektonske zamršenosti (DRAGIČEVIĆ et al., 1998).

Veći blokovi vapnenca izlaze na površinu upravo na Ravnoj gori, te na istočnom dijelu planine Ivanščice, dok se na ostalim planinama pojavljuju sporadično. Vrlo su bitni za rješavanje stratigrafske veze tj. za određivanje relativne starosti na temelju fosilnog

sadržaja. Determinirani fosili su alge i foramenifere: *Meabdropa dinarica*, *Glomospira densa*, *Macroporella alpina*. (ŠIMUNIĆ et al., 1982).

Na temelju geološke karte i prikazanog geološkog stupa smatra se da je debljina naslaga anizika oko 450 metara.

U ladiniku se nastavlja sedimentacija plitkovodnih vapnenaca koji su kasnije dolomitizirani i rekristalizirani. Determinirani fosili: *Uvanella irregularis*, *Dictyocoelia manon*, *Ladinella porata*. Prema geološkoj karti i geološkom stupu, pretpostavlja se da je debljina ladiničkih naslaga do 300 metara.

Ukupna debljina srednjeg trijasa je oko 700 metara.

Gornji trijas (T₃)

Najmarkantnije geološke jedinice gornjeg trijasa su dolomiti no pojavljuju se i vapnenci. Dominiraju intraklastični, stromatolitni dolomiti uz pojavu algalnih i onkoidalnih vapnenca. Determinirani fosili: *Triasina hantkeni elliptica*, *Glomospirina* sp. Količina CaCO₃ ne prelazi 10%. Svjetlosive do tamnosive su boje zbog udjela gline. Dolomiti gornjeg trijasa nisu se mogli podijeliti na katove zbog nedostatka fosila. Debljina se procjenjuje do 800 metara.

4.1.2. Jura (J)

Sedimenti jure razvijeni su na malim površinama te su za sada paleontološki dokazani samo sedimenti donje i gornje jure. U području Hrvatskog zagorja, za vrijeme jure, vladali su dubokovodni uvjeti te nije moglo doći do taloženja vapnenca. Taloženje karbonata moglo se odvijati tek na prijelazu jure u kredu, jer tada dolazi do izdizanja morskog dna i oplićavanja mora. Taloženi su dubokovodni sitnozrnati vapnenci koji sadrže prosljoke radiolarijskih rožnjaka i tufitičnih šejlova (ŠIMUNIĆ, 2006).

4.1.3 Donja kreda (K₁, ββ)

Bazične vulkanite (ββ) koji se u obliku malih izdanaka pojavljuju u Ravnoj gori čine dijabazi i spiliti a vezani su za kredni vulkanogeno-sedimentni kompleks. PAMIĆ & ŠIMUNIĆ (1994) smatraju da vulkaniti pripadaju senonskom kompleksu naslaga u koju uvrštavaju i crvenu seriju lapora, siltita i rožnjaka (HEĆIMOVIĆ, 1995.)

4.2. NEOGEN

MIOCEN (M)

Na istražnom području Ravne gore pojavljuju se stratigrafske jedinice starosti eger, egenburg, baden, sarmat, panon. U širem području Hrvatskog Zagorja determinirane su jedinice svih katova koji pripadaju miocenu.

4.2.1. Eger-Egenburg (O, M₁)

Na sjevernoj i južnoj strani Ravne gore taložene su marinske naslage egenburga. Sjeverno od Ravne gore čine izduženu zonu u tektonskom kontaktu s naslagama mezozoika.

Za vrijeme egera, taloženi su sedimenti u plitkovodnim taložnim uvjetima, tj. u plitkom moru. Ukupna debljina egerskih naslaga je oko 500 metara (ŠIMUNIĆ et al., 2006.). Ove naslage čine pijesci, a pojavljuju se još i pješčenjaci, šljunci, pjeskoviti lapori, gline, tufovi i vulkanska breča. Nađeni su makrofosili, a najznačajniji su *Cyclamina placenta*, *Karrieriella hantheniona*, *Mertinottiella communis*, *Marginulina fragaria*.

Prelaskom u egenburg dolazi do tektonskih pokreta koji su popraćeni vulkanskim erupcijama. Stvaraju se manji vulkani na području Hrvatskog zagorja koji su izbacili veliku količinu vulkanskog pepela i drugog piroklastičnog materijala. Pretaloživanjem piroklastičnog materijala nastali su „Maceljski pješčenjaci“ čija je debljina oko 400 metara (ŠIMUNIĆ, 2006).

4.2.2. Gornji baden (M₄²)

Naslage badena su najzastupljeniji član neogena i svojim većim dijelom okružuju starije stijene, a nalaze se na sjeveroistočnim padinama Ravne gore. Baden karakteriziraju marinski sedimenti, zastupljeni su vapnenački sedimenti, pjeskoviti vapnenci, laporoviti vapnenci i vapnenački lapori, a pojavljuju se još i konglomerati i breče. Južno od Ravne gore zastupljeni su krupnozrnati monomiktni konglomerati sastavljeni od valutica andezita.

Badenske naslage su uglavnom transgresivne na starije stijene, a u istraživanom području, transgresivne su uglavnom na trijasko dolomite. Na granici s dolomitima nalaze se breče i konglomerati, a zatim slijede litavci i litotamnijski vapnenci te vapnenački pješčenjaci i lapori. (ŠIMUNIĆ & HEĆIMOVIĆ, 1981). Determinirani su značajni makrofosili: *Pycnodonta cochlear*, *Chlanys opercularis*, *C. latissima*, *Amussium corneum denudatum*, *Phacoides borealis*, a od mikrofosila: *Martinotiella communis*, *Vaginualina legumen*, *Uvigerina macrocarinata*.

Debljina bedenskih naslaga je od 200 do 400 metara.

4.2.3. Sarmat

Naslage sarmata čine tanki slojevi sitnozrnatih pijesaka i lapora, te pjeskoviti vapnenci, vapnenački lapori i bituminozni lapori (ŠIMUNIĆ, 2006.). Naslage sarmata su konkordantne i kontinuirane na badenskim naslagama. Naslage sarmata čine ponajviše tankouslojeni i listićavi vapnenci i lapori, a manje gline, pijesci i konglomerati. Determinacijom fosila školjke: *Ervilia dissita dissita* i *Articulina sarmatica*, dokazuje da su sedimenti taloženi u plitkoj brakičnoj vodi. Debljina sarmatskih naslaga je od 50 do 70 metara.

4.2.4. Panon

Naslage panona čine tankouslojeni i pločasti vapnenci i lapori. Ovi slojevi se još zovu i „*Croatica*“ naslage (Jenko, 1944.) na temelju puža *Radix croatica*. Naslage panona leže konkordantno na naslagama sarmata (ŠIMUNIĆ, 2006). Početkom panona dolazi do desalinizacije zagorskog bazena te postaje slatkovodno jezero što u potpunosti mijenja faunu i floru. Kako je već navedeno, dolazi do taloženja tankouslojenih vapnenca i lapora. Uz naziv „*Croatica slojevi*“ još se koristi i naziv „*bijeli lapori*“. Na temelju fosila zaključak je da su klimatski uvjeti bili slični današnjim. Debljina ovih naslaga je oko 50 metara (ŠIMUNIĆ & HEĆIMOVIĆ, 1981).

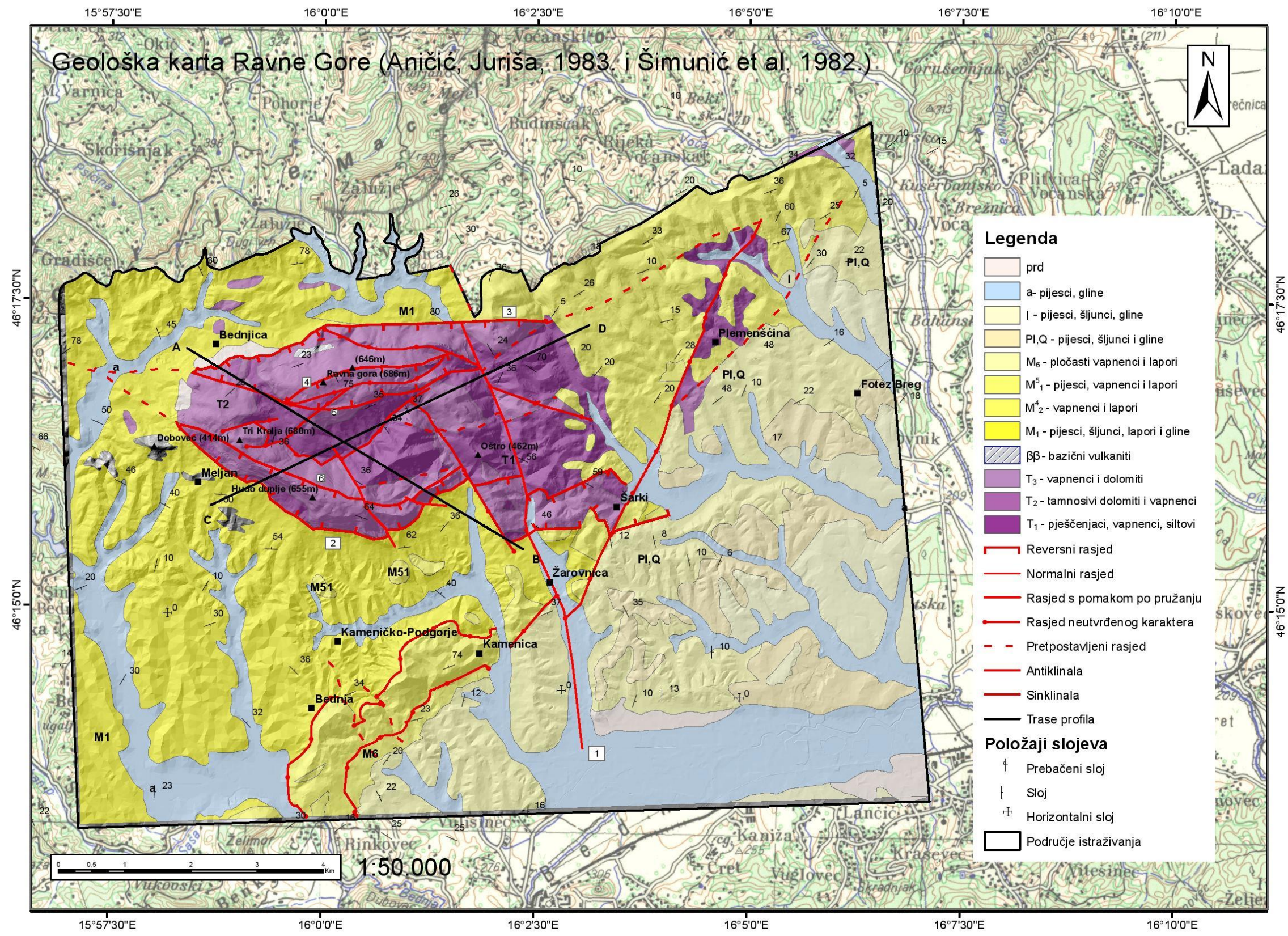
Gornjopanonske naslage se razlikuju na dva dijela: donji laporoviti i gornji pješćani. U donjem dijelu taloženi su debelouslojeni i gromadasti, vapnenački i glinoviti lapori. Nadalje su odlagani debeli slojevi pijesaka, koji se izmjenjuju s tankim proslojcima glinovitih lapora. Ponekad su taloženi slojevi i leće sitnozrnatog, kvarcnog šljunaka. Ovakav raspored sedimenata ukazuje na jake morske struje i podmorska klizanja, zbog čega njihov postanak valja vezati uz mutne tokove koji su transportirali klastični materijal s područja Alpa u Panonski bazen (Šimunić et al, 1982). Sedimenti gornjeg panona u osnovi leže preko donjopanonskih naslaga. Najčešće su razvijeni u facijesu „*Banatica naslaga*“ koje su izgrađene od lapora. Pojavljuju se i laporoviti pijesci koji su karakteristični za područje Hrvatskog zagorja. Starost gornjeg panona dokazana je na temelju determiniranih makrofosila: *Congerina banatica* i *Gyraulus tenuistriatus*.

4.3. PLIOKVARTAR

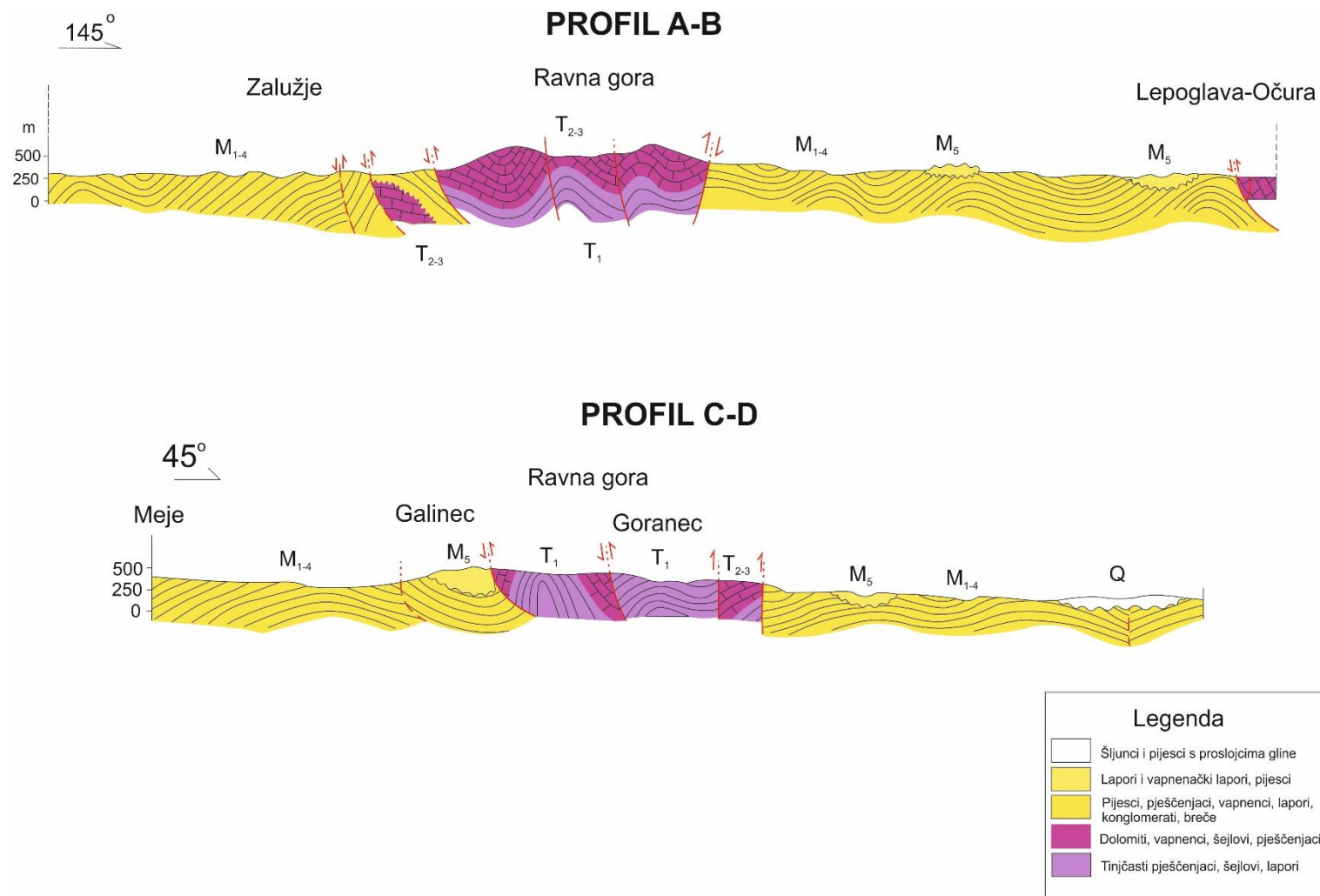
Na području Hrvatskog zagorja pojavljuju se sivi žuti i crvenosmeđi pijesci, šljunci i gline. Pliokvartarne naslage leže diskordantno preko starijih neogenskih naslaga. Šljunci su slabo zaobljeni, a među njima dominiraju valutice izgrađene iz kvarca, rožnjaka, eruptiva i tufa. Sastav valutica ukazuje na lokalno podrijetlo materijala. Pijesci su različite granulacije, a odlikuje ih visok postotak kvarcnih zrna. Starost ovih naslaga nije potpuno utvrđena, ali se pretpostavlja, da su nastale u slatkovodnim jezerima, koja su se održala i u donjem pleistocenu (ŠIMUNIĆ, 1986)

4.4. KVARTAR (l, a, p)






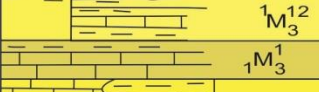

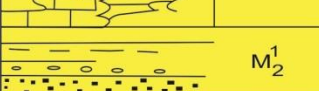






Naslage kvartara se mogu podijeliti na pleistocenske i holocenske. Zbog manjka podataka, naslage kvartara su izdvojene prema genetskim tipovima, a u istraživanom području pojavljuju se les, aluvij i proluvij i deluvij.



Slika 4-1. Geološka karta Ravne gore mjerila 1:50000 (OGK - Rogatec ; ANIČIĆ & JURISA, 1983) i (OGK – Varaždin; ŠIMUNIĆ et al., 1982)



Slika 4-2. Geološki profili Ravne Gore (DRAGIČEVIĆ, 2002)

| | | | | |
|---------|---|---|--|---|
| KVARTAR | |  | PI,Q | Šljunci i pijesci s proslojcima gline |
| NEOGEN | PLIOCEN |  | PI ₁ ² | Pijesci s proslojcima pješčenjaka, i pjeskovito-glinovitih lapora, leče šljunka i gline |
| | |  | PI ₁ ¹ | Lapori s rijetkim proslojcima pijeska i pješčenjaka |
| | |  | M ₃ ^{1,2} | Pijesci, pješčenjaci, pjeskoviti i siltozni lapori, sitnozrni šljunci, gline |
| |  | ² M ₃ ^{1,2} | Vapnenci i lapori | |
| | MIOCEN |  | ¹ M ₃ ^{1,2} | Vapnenci, lapori i pješčenjaci |
| | |  | ¹ M ₃ ¹ | Biogeni pjeskoviti laporoviti vapnenci, vapnenački lapori, pješčenjaci |
| | |  | M ₂ ² | |
| | |  | M ₂ ¹ | Konglomerati i breče |
| | |  | M ₁ ¹ | Vapnenci, lapori i pješčenjaci |
| | |  | M ₁ | Izmjena pijeska, pješčenjaka, konglomerata, šljunka, lapora, glina |
| TRIJAS | GORNJI |  | | Vapnenci, dolomiti i dolomitne breče |
| | SREDNJI |  | | Bazalti |
| | DONJI |  | | Šejlovi, pješčenjaci, vapnenci, rožnjaci i tufovi |
| | | | | Tinjčasti pješčenjaci, šejlovi, lapori, oolitni vapnenci, dolomiti |

Slika 4-3. Geološki stup Ravne gore (Osnovna geološka karta – list Varaždin; ŠIMUNIĆ et al., 1982)

5. Hidrogeološke značajke

Za potrebe rada, stijene su prema hidrogeološkim značajkama svrstane u tri skupine:

1. Karbonatne stijene
 - a) Dobre propusnosti (T_3 i M_4^2)
 - b) Osrednje propusnosti (T_2)
2. Nevezane kvartarne i pliokvartarne stijene
 - a) dobre propusnosti (Q (a, pr, l))
 - b) slabe propusnosti (Pl)
3. Klastične i karbonatne stijene
 - a) slabopropusne do nepropune (M_6 , M_5^1 , $K_{1,2}$, T_1)

Radi preglednosti i odnosa geoloških i hidrogeoloških jedinica, geološki stup je transformiran u hidrogeološki prema metodologiji iz GOLDSCHIEDER & DREW (2007). Površinski i potpovršinski raspored hidrogeoloških jedinica u istraživanom području prikazan je na hidrogeološkoj karti (Slika 5-1) i shematskim hidrogeološkim profilima (Slika 5-2).

Od hidrogeoloških jedinica u daljnjem tekstu bit će opisani glavni gorski vodonosnici Ravne gore, koje predstavljaju srednje i gornjotrijaski karbonati te gornjobadenski karbonatno klastični kompleks (DRAGIČEVIĆ et al., 2014).

5.1. Trijaski dolomitno vapnenački vodonosnik

Trijaski dolomitno-vapnenački vodonosnik nalazi u vrlo zamršenim strukturnim odnosima. Bore i rasjedi te rasjedne zone velikih dimenzija (dm, hm, km) daju temeljna strukturna obilježja ovom vodonosniku. Odnos ovog vodonosnika prema izolatorskim stijenskim kompleksima vrlo je zamršen. U normalnom stratigrafskom slijedu u podini vodonosnika se nalazi donjotrijaski kompleks klastičnih stijena, koji je vodonepropustan ili slabo vodopropustan. U krovini se transgresivno i diskordantno nalaze raznovrsne taložne stijene najčešće neogenske starosti. Vrlo često transgresivno i diskordantno preko trijaskog dolomitno vapnenačkog vodonosnika naliže badenski karbonatno-klastični vodonosnik,

koji u tome slučaju zajedno s njim čini jedinstvenu hidrauličku sredinu, odnosno jedinstveni vodonosnik. Debljina trijaskog dolomitno-vapnenačkog vodonosnika u razmatranom području procjenjuje se na više stotina metara (čak i preko 800 metara) (ŠIMUNIĆ et al., 1982). i (Aničić & Juriša, 1983).

Što se tiče vrsta poroznosti koje su razvijene u ovom vodonosniku prisutne su i primarna i sekundarna. Primarna poroznost ili sinsedimentacijska poroznost u vapnencima i dolomitima razvijena je u više tipova: poroznost biogene skeletne rešetke, unutarzrnska i međuzrnska poroznost, fenestralna i sklonišna poroznost. Prema dostupnim podacima (ŠESTANOVIĆ, 1993) kreće se u granicama između 1 i 3%.

Sekundarna poroznost ili postsedimentacijska poroznost hidraulički je najznačajniji tip poroznosti ovog vodonosnika. Na temelju podataka terenskih istraživanja kao i literaturnih podataka može se sa sigurnošću reći da su razvijeni brojni tipovi ove poroznosti (interkristalna, moldička, šupljinska, kanalna, špiljska, prslinska, brečna, poroznost trošenja). Vrijednosti efektivne poroznosti procijenjene su promatranjem izdanaka u kamenolomima na 3 do 25% (DRAGIČEVIĆ et al., 1997). Iznos poroznosti djelomično je sedimentološki i dijagenetski uvjetovana, a djelom tektonski. Njezina je uloga u hidrogeološkom smislu najznačajnija za tok podzemne vode. U prilog značajnoj sekundarnoj, a i terciarnoj poroznosti, govore i poneki krški oblici razvijeni na površini ovog vodonosnika. Prisutne su vrtače, što svjedoči o brzom vertikalnom poniranju vode u podzemlje. Zbog toga pojedine, ali ipak značajne dijelove možemo uvrstiti u krške vodonosnike. Razlog sigurno puno veće sekundarne poroznosti u odnosu na primarnu poroznost je i puno duže vrijeme tokom kojeg nastaje i razvija se sekundarna poroznost.

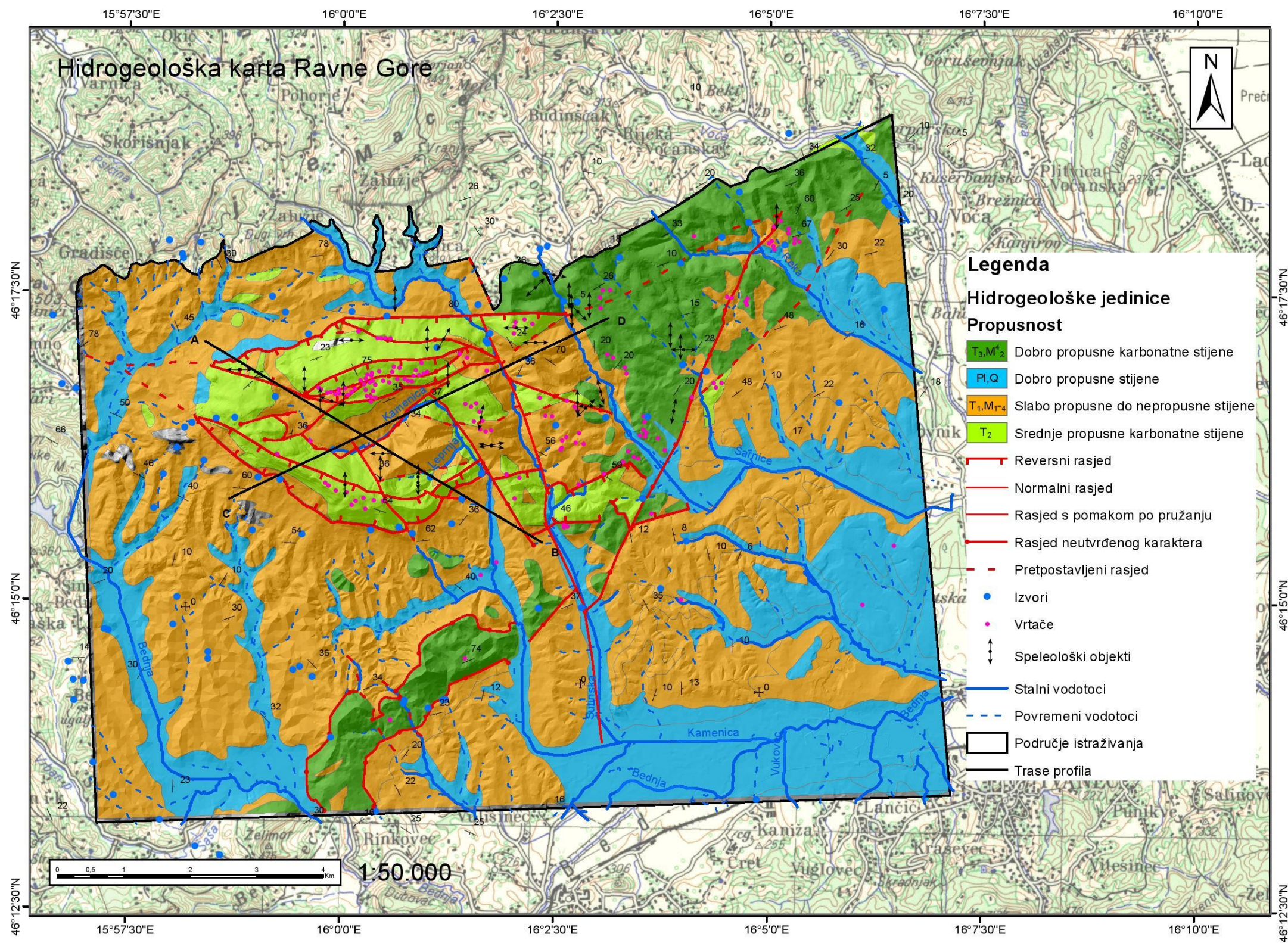
Transmisivnost i hidraulička vodljivost kao i neki drugi hidrogeološki parametri, za sada nisu dovoljno proučavani u istraživanom prostoru. Samo za ilustraciju mogu poslužiti vrijednosti određene interpretacijom pokusnog crpljenja u nekim zdencima (primjer zdenca BV-1 u Vratnom-Kalnik, MAYER et al., 1994.) gdje su utvrđene vrijednosti koeficijenta transmisivnosti između $T = 2,9 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ i $T = 5,7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Kako je zdencem zahvaćen samo dio dolomitnog vodonosnika na dubini između 400 i 430,3 m ispod površine terena, može se dati i gruba procjena koeficijenta vodopropusnosti od oko $1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$, što približno odgovara srednje zrnomoj pijesku (MAYER et al., 1994).

5.2. Badenski karbonatno klastični kompleks

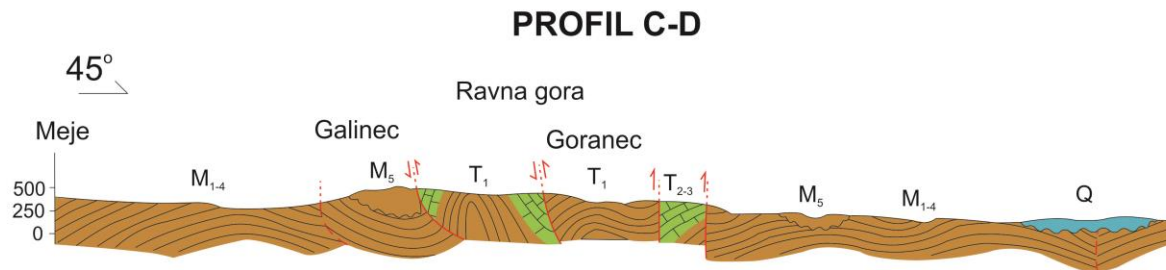
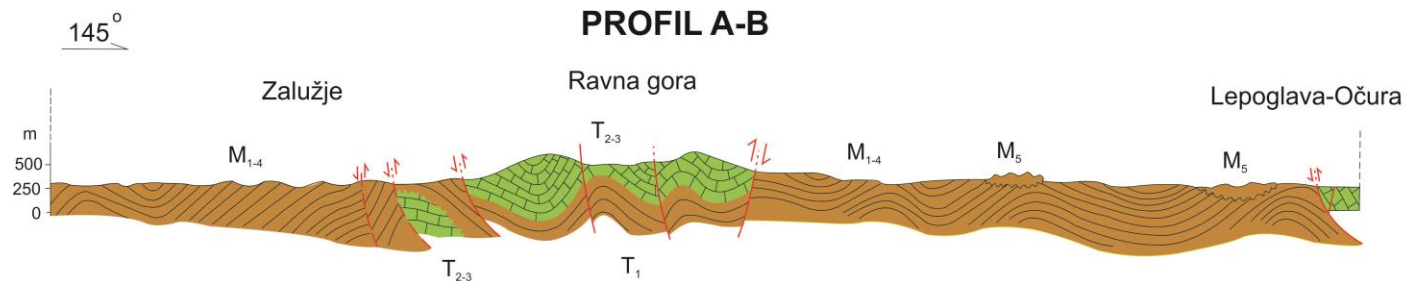
Badenski karbonatno-klastični vodonosnik zbog široke rasprostranjenosti, predstavlja drugi najznačajniji gorski vodonosnik Ravne gore. Geometrija i strukturni položaj ovog vodonosnika prvenstveno ovise o mjestu (paleoambijentu) i načinu njegovog postanka.

Odnos ovog vodonosnika prema izolatorskim stijenama može biti vrlo zamršen. On je u normalnom odnosu transgresivan i diskordantan na različite starije stijene. Od nepropusnih najčešći su različiti sedimentni sljedovi donjeg i srednjeg trijasa, te predbadenski krupnozrnasti do sitnozrnasti glinovito-laporoviti litotipovi. Vrlo često, a što je u hidrogeološkom smislu izrazito povoljno, stijene ovog vodonosnika mjestimično leže preko dolomitno-vapnenačkog vodonosnika srednjeg i gornjeg trijasa. U takvim područjima oba vodonosnika treba promatrati zajedno, kao jedinstvenu hidrauličku cjelinu. U krovini vodonosnika dolazi široko rasprostranjeni i lako prepoznatljivi slijed sarmatskih sitnozrnastih laporovito-glinovito-pjeskovitih sedimenata te mjestimično recentne aluvijalne naslage. Dakako da u recentnim strukturnim odnosima vrlo često susrećemo rasjedne kontakte ovog vodonosnika s vrlo različitim stijenskim kompleksima, kako po starosti tako i po petrografskom sastavu i hidrogeološkim svojstvima.

Petrografski sastav ovog vodonosnika, kako proizlazi iz samog naslova, vrlo je raznovrstan. U karbonatnom dijelu vodonosnika prevladavaju različiti tipovi plitkomorskih vapnenaca gotovo isključivo biogenog podrijetla. Prevladavaju biohermalni i biostromalni koralinacejsko-briozojsko-koraljni vapnenci kao i produkti njihovog razaranja energijom morske vode. Klastični dio vodonosnika predstavljaju najčešće bazalni polimiktni konglomerati i breče. Njihov sastav odgovara petrografskom sastavu podine s kojom su u transgresivnom kontaktu. U zamršenim paleogeografskim odnosima na relaciji kopno-obalna linija-plitko more često se susreću u različitim omjerima pomiješani litoklasti karbonatnog i klastičnog razvoja. U karbonatnom dijelu vodonosnika nazočne su sve vrste poroznosti, primarne i sekundarne karakteristične za vapnence. Od primarne poroznosti svakako treba istaknuti poroznost grebenske rešetke (u biohermama i biostromama koje nisu razorene dinamikom mora). Dakako da pojedini tipovi sekundarne poroznosti i u ovim vapnencima uvjetuju vrlo povoljne hidrogeološke karakteristike vodonosnika. To se prvenstveno odnosi na disolucijsku poroznost što je dovelo do stvaranja vrtača pa vodonosnik često ima krška obilježja. U klastičnom dijelu vodonosnika zastupljena je primarna poroznost, a prevladavaju međuzrnska i unutarzrnska.










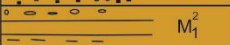

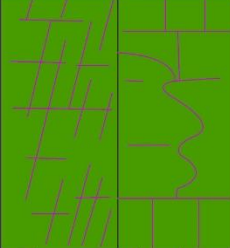





Slika 5-1. Hidrogeološka karta Ravne gore, mjerila 1:50000



| Legenda | |
|---|---|
|  | Dobro propusne stijene (šljunci, pijesci) |
|  | Srednje propusne karbonatne stijene |
|  | Slabo propusne do nepropusne karbonatne i klastične stijene |

Slika 5-2. Hidrogeološki profili Ravne gore (DRAGIČEVIĆ, 2002)

| | | | | | | |
|---------|---|---|---|---|---|---|
| KVARTAR | |  | PI,Q | Šljunci i pijesci s proslojcima gline | Nevezane kvartarne i pliokvartarne stijene dobre i osrednje propusnosti | |
| NEOGEN | PLIOCEN |  | PI ₁ ² | Pijesci s proslojcima pješčenjaka, i pjeskovito-glinovitim lapora, leće šljunka i gline | Slabo propusne do nepropusne klastične i karbonatne stijene | |
| | |  | PI ₁ ¹ | Lapori s rijetkim proslojcima pijeska i pješčenjaka | | |
| | |  | M ₃ ¹² | Pijesci, pješčenjaci, pjeskoviti i siltozni lapori, sitnozrni šljunci, gline | | Lapori i vapnenački lapori, siltovi, konglomerati |
| |  | 2M ₃ ¹² | Vapnenci i lapori | | | |
| | MIOCEN |  | 1M ₃ ¹² | Vapnenci, lapori i pješčenjaci | | Slabo propusne karbonatne stijene |
| | |  | 1M ₃ ¹ | | | |
| | |  | M ₂ ² | Biogeni pjeskoviti laporoviti vapnenci, vapnenački lapori, pješčenjaci | | |
| | |  | M ₂ ¹ | Konglomerati i breče | | |
| | |  | M ₁ ² | Pijesci, pješčenjaci, lapori | | |
| |  | M ₁ | Izmjena pijeska, pješčenjaka, konglomerata, šljunka, lapora, glina | | Slabo propusne do nepropusne klastične i karbonatne stijene | |
| TRIJAS | GORNJI |  | | Vapnenci, dolomiti i dolomitne breče | Slabo propusne karbonatne stijene | |
| | SREDNJI |  | | Bazalti | Srednje propusne karbonatne stijene | |
| |  | | Dolomiti, vapnenci, dolomitne breče | Šejlovi, pješčenjaci, vapnenci, rožnjaci i tufovi | | |
| DONJI |  | | Tinčasti pješčenjaci, šejlovi, lapori, oolitični vapnenci, dolomiti | Slabo propusne do nepropusne klastične i karbonatne stijene | | |

Slika 5.3. Hidrogeološki stup Ravne gore (ŠIMUNIĆ et al., 1982).

6. Opis recentnog strukturnog sklopa

U gorskim vodonosnicima tok podzemne vode u regionalnom mjerilu kontrolira recentni strukturni sklop, odnosno rasjedi i geološke strukture. Rasjedi mogu predstavljati privilegirane putove za tok podzemne vode (podzemna voda može teći okomito na rasjed ili uzduž rasjeda). Zato je za razumijevanje toka podzemne vode potrebno što realnije odrediti recentni strukturni sklop. U područjima izgrađenima od karbonatnih stijena, speleološki objekti (špilje i jame), ponikve i izvori mogu značajno pomoći pri definiranju trasa značajnih rasjeda i rasjednih zona pošto je njihov nastanak vezan za pomake po rasjedima.

7. Metode interpretacije recentnog strukturnog sklopa

U provedenim istraživanjima geološkog strukturnog sklopa najprije su u obzir uzeta dosadašnja istraživanja sadržana u objavljenim i važnim stručnim radovima. Osnovni podaci o rasprostranjenosti stijena i strukturnim odnosima sadržani su u OGK Varaždin (Šimunić, Pikija, Hećimović, 1982.) i OGK Rogatec (Aničić & Juriša, 1983) i stručnim radovima (ŠIMUNIĆ, 2006., 1986.) i (DRAGIČEVIĆ, 1997)

Za izradu recentnog strukturnog sklopa koristio se program GIS. Topografske podloge povučene su iz WMS Državne geodetske uprave RH preko kojih su izdvojeni točkasti „shape fileovi“ izvora, vrtača, većih naselja i vrhova, te linijski „shape file“ vodotoka. Speleološki objekti su izvučeni iz već navedenog biospeleološkog katastra Ravne gore (ŠINCEK & OZIMEC, 2002.) i uneseni u program. Preko listova OGK – Varždin i OGK-Rogatec izdvojene su litološke jedinice na istražnom području. Izrađeni digitalni model reljefa i njegovim preklapanjem s litološkim jedinicama i svim poznatim i dobivenim podacima dobiva se podloga za izradu recentnog strukturnog sklopa. Na temelju litoloških jedinica izdvojeni su glavni rasjedi koji su izdigli Ravnu goru. Na temelju smjerova speleoloških objekata i karakterističnim pojavama izvora i vrtača (u ravnim linijama) intepetirani su strukturni elementi. Razvrstani su u kategorije na temelju prepostavljenosti, te tako razlikujemo reversni i normalni rasjed, rasjed s pomakom po pužanju, rasjed neutvrđenog karaktera, prepostavljeni rasjed, antiklinala i sinklinala.

7.1. Geomorfologija, rasjedi i položaj vrtača, izvora i speleoloških objekata

Geološka i geomorfološka istraživanja u izradi diplomskog rada uključivala su prepoznavanje i kartiranje različitih reljefnih oblika i drenažne značajke. Najznačajniji oblici, korisni za ovaj rad, su vrtače, izvori i speleološki oblici. Time se mogu odrediti područja napajanja vodonosnika i istjecanja iz vodonosnika. Područja napajanja vodonosnika predstavljaju područja s velikom gustoćom vrtača te područja smanjene gustoće vegetacije gdje su trošne i razlomljene stijene izložene na površini i veća se količina vode može infiltrirati u podzemlje. Područja istjecanja su u pravilu topografski niža, u područjima s većim brojem izvora. Važno je napomenuti da se izvori u istraživanom području javljaju na svim nadmorskim visinama. Izvori koji se javljaju na višim nadmorskim visinama uglavnom su dio lokalnog toka te njihova izdašnost značajno ovisi o količini oborina.

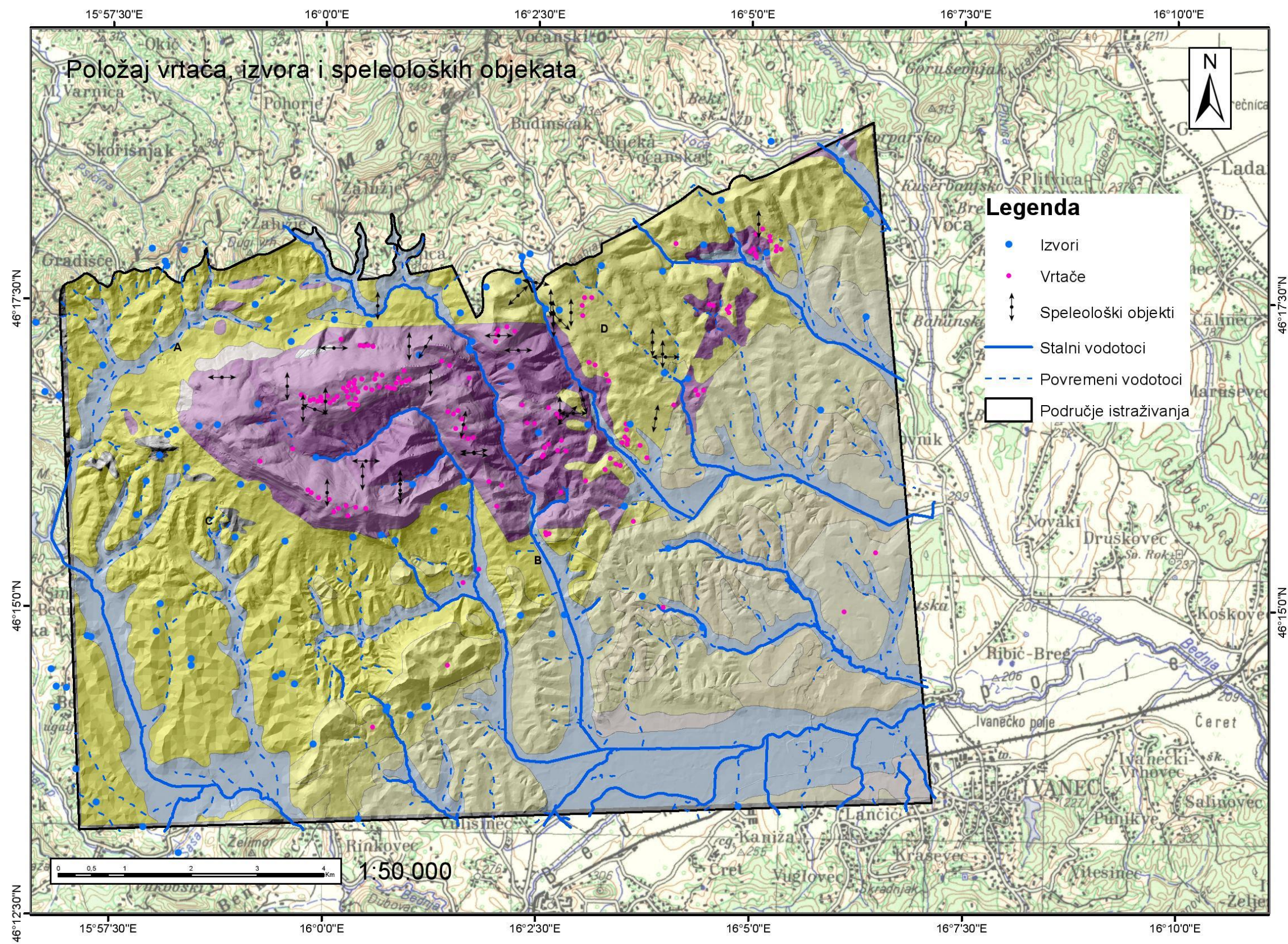
U gorskim vodonosnicima, rasjedi i rasjedne zone imaju važnu hidrogeološku ulogu. Recentno aktivni rasjedi često predstavljaju privilegirane tokove podzemnih voda jer su karakterizirani razlomljenom rasjednom zonom koja je veće propusnosti od okolne stijene. Kod geološki starijih rasjeda, tokom podzemne vode dolazi do cementacije pukotina te rasjed čini barijeru toku podzemne vode i na njemu se mogu javiti izvori ili nizovi izvora.

Vrtače se također često javljaju na rasjedima ili u rasjednim zonama ili izdignutim geološkim strukturama gdje su stijene razlomljene ili trošnije pa se mogu formirati takvi morfološki oblici.

Vrtače su morfološki oblici u kršu gdje voda može izravno ulaziti u podzemlje. U istraživanom području Ravne gore, pomoću računalnog programa ESRI ArcGIS 10.1, na temelju topografskih karte mjerila 1: 25000, digitalnog modela reljefa rezolucije 10 m te izdvojene su vrtače (slika 10.). Najveća gustoća vrtača nalazi se u sjevernom dijelu Ravne gore tj. u topografski najvišim područjima (slika 10.). Najveća gustoća vrtača je u stijenama srednjeg trijasa. To su karbonatne stijene srednje propusnosti. Za vrijeme kišnih razdoblja na tom području ulaz vode je najveći, te se smatra da se na najbližim izvorima pojavljuje veća izdašnost. Na sjeveroistočnom dijelu istražnog terena vrtače su na kontaktu različitih litoloških jedinica, a ako se pojavljuju u linijama mogu sugerirati i na prisutnost rasjeda.

Na istražnom području Ravne gore, u programu GIS te uz pomoć topografske karte mjerila 1: 25000, izdvojeni su izvori. Gustoće izvora ukazuju na malo razvedeniju raspodjelu na istražnom području. Izvori su raspršeni po cijelom području istražnog terena. Najveća gustoća izvora je na zapadnom i jugozapadnom dijelu Ravne gore. Veliki broj izvora se nalazi na naslagama miocenske starosti. To su karbonatne i klastične stijene slabije propusnosti. Manja koncentracija izvora je vezana uz kontakt karbonatnih stijena dobre propusnosti starosti donjeg trijasa i slabo propusnih do nepropusnih klastičnih i karbonatnih stijena starosti miocena. Na temelju usporedbe koncentracije izvora i vrtača može se zaključiti generalni smjer toka podzemne vode na području Ravne Gore SSZ-JJI.

Naziv, smjer i koordinate speleoloških objekata nađeni su u biospeleološkom katastru Ravne gore (ŠINCEK & OZIMEC) te su kao takvi uneseni u program ArcMap 10.1 (GIS). Prema slici 10. najveća koncentracija speleoloških objekata se nalazi na području Ravne gore na trijaskim naslagama. Speleološki objekti su rezultat tektonske aktivnosti i otapanja te na temelju njihovih pružanja možemo pretpostaviti smjer toka podzemne vode i mogućeg rasjeda.



Slika 7.1. Istražno područje Ravne gore i položaj vrtača, izvora i speleoloških objekata

Tablica 7.1. Popis speleoloških objekata Ravne gore (OZIMEC & ŠINCEK, 2008.)

| Naziv | X | Y | Z(m) |
|-------------------------------------|---------|---------|------|
| Cimerjanka jama | | | |
| Ponor u Cimerplacu | | | |
| Jelovec jama | 5576865 | 5126333 | 525 |
| Vihra špiljica | 5579150 | 5126077 | 290 |
| Škedenj špilja | 5579277 | 5125700 | 285 |
| Cinkalica 4 (Romanova nada) | 5580758 | 5126321 | |
| Cinkalica 3 (Markov skok) | 5580601 | 5126414 | 410 |
| Jaman na Langešici | 5580937 | 5126582 | 372 |
| Jama na Fromenščini | | | |
| Cinkalica 1 | 5580486 | 5127729 | 448 |
| Mačkova špilja | 5579907 | 5127258 | |
| Zdenec pri Ciglaru | 5582131 | 5127194 | 251 |
| Cinkalioca jama kod Zdenca | 5581978 | 5127371 | 311 |
| Cerjanska špilja | 5582040 | 5126225 | 274 |
| Jama uz cestu iznad Velikih Vrtanja | 5578318 | 5127237 | 470 |
| Jama u Velikim Vrtanjima | 5578590 | 5127331 | 434 |
| Jama na Vracima (ponor i izvor) | 5576491 | 5126604 | 536 |
| Jama na vlaki iznad Vraca | | | |
| Izvor iznad Jelovac jame | 5577072 | 5126385 | 563 |
| Vranjka jama | 5578646 | 5126705 | 568 |
| Špilja kod dobre vode | 5577646 | 5125550 | 398 |
| Škedelj špilja | 5579277 | 5125700 | 285 |
| Ponorna jame kod Jelovec jame | | | |
| Vindija špilja | 5583542 | 5129176 | 275 |
| Goranska klepa | 5580758 | 5126321 | |
| Špilja Kukelj 1 | 5579906 | 5128052 | |

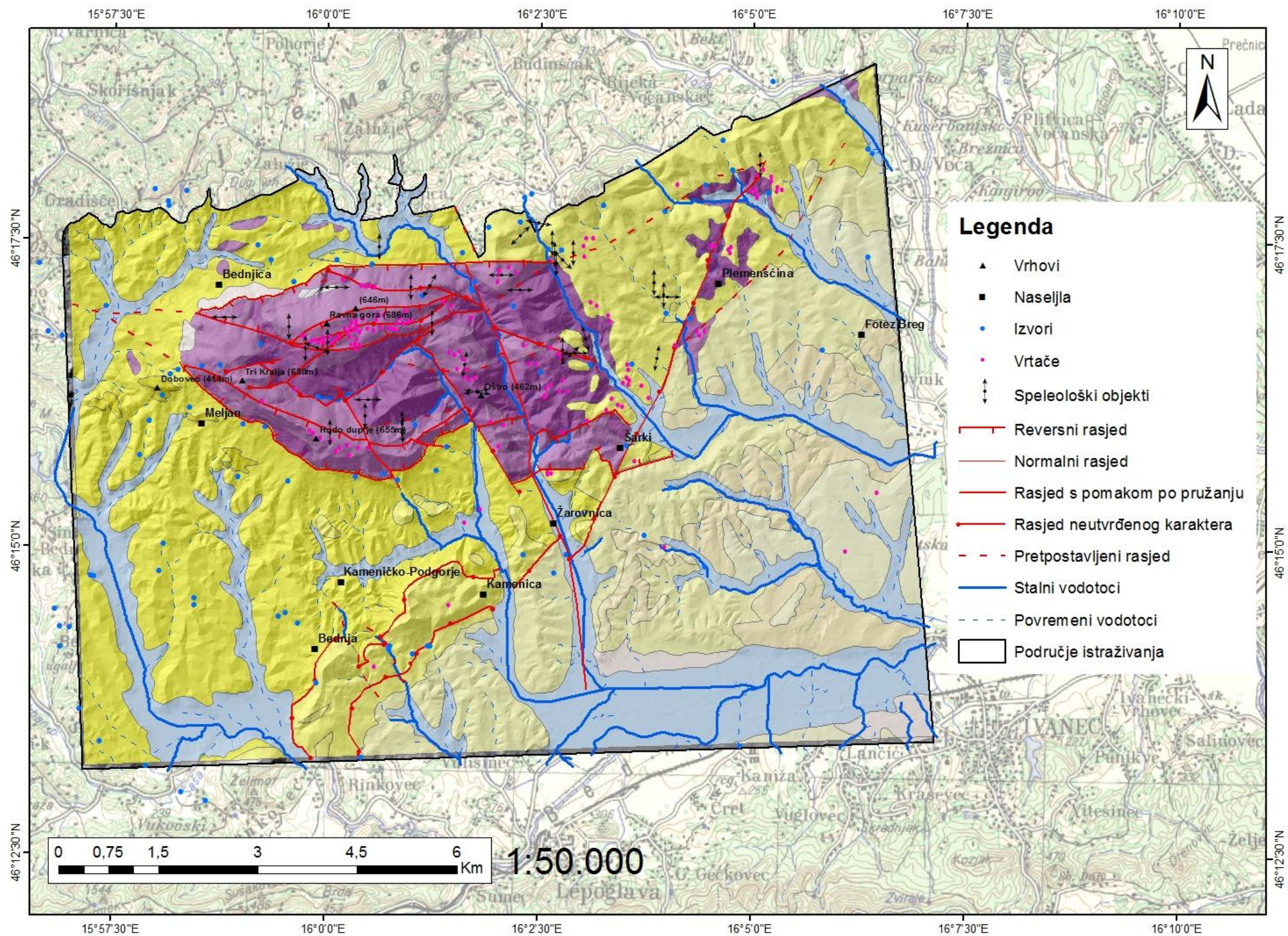
NASTAVAK TABLICE 7-1.

| Naziv | X | Y | Z(m) |
|----------------------------------|----------|----------|-------------|
| Belščica špilja | | | |
| Jama 2 uz cestu iznad V.V. | 5577826 | 5127837 | 470 |
| Vranjka jama | 5578221 | 5125165 | |
| Vrtača kod Vranjka jame | 5578221 | 5125165 | |
| Školjkača (peščenica Vinička) | | | |
| Šincekova špilja (peš. Vin) | | | |
| Plitvička špilja (peš.vin,) | | | |
| Jamski park | | | |
| Zdenec pri ciglaru | 5582131 | 5127194 | |
| Duplja jama | 5576727 | 5126376 | 539 |
| Vučilnica špilja | 5577137 | 5127237 | 449 |
| Ledenica | 5575551 | 5126769 | 486 |
| Konjska jama | 5577651 | 5125367 | 556 |
| rudnik u velikoj sotinskoj | 5579614 | 5127469 | 400 |
| Vila jama | 5577123 | 5125113 | 613 |
| Špilja Kukelj sjever | 5580257 | 5128276 | |
| Jama na I strani Kuča gore | 5580477 | 5127762 | 425 |
| špilja pod II grebenom Kuča gore | 5580439 | 5127934 | 390 |
| kolapsirana jama na Kuča gori | 5580541 | 5127762 | 400 |
| Poluspilja u Krči | 5580747 | 5127798 | 280 |
| Spilja pod Butinom | | | |

8. Lokalno mjerilo, mjerilo izdanka, pukotine i manji rasjedi

Unutar struktura omeđenih većim rasjedima i u strukturama lokalnog mjerila podzemna voda se giba uglavnom kroz manje rasjede, pukotine i pukotinske sustave. Pukotinski sustavi nastaju pod djelovanjem tlaka, tektonike, rezidualnog stresa, djelovanjem klizanja, trošenjem i erozijom, a prikazuju dijelove na stijeni koja su relativno najslabija.

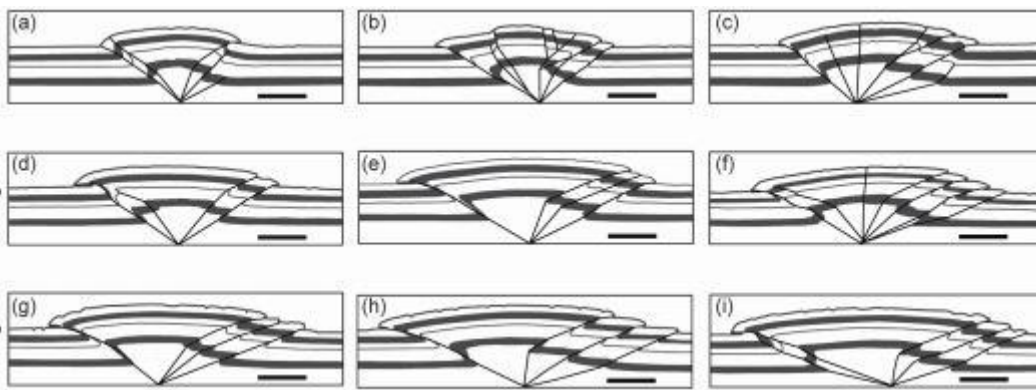
U istražnom području izdvojeni su rasjedi unutar većih struktura. Unutar struktura omeđenih glavnim rasjedima interpretirani i manji rasjedi koji mogu utjecati na tok podzemne vode u lokalnom mjerilu. Rasjedi unutar struktura često se pružaju po kontaktu donjo i srednje trijaskih stijena (Slika 8-1.).



Slika 8-1. Recentni strukturni sklop Ravne gore

8.1. Primjeri povezanosti tektonike i speleoloških objekata

Područje ima krška obilježja i izrazitu okršenost. Prvenstveno su okršene trijaskke i gornjobadenske karbonatne stijene. Tako se na Ravnoj gori nalaze vrtače, ponori, izvori, jame, špilje. Na istražnom području Ravne gore nalaze se razni rasjedi, što nam ukazuje da je ovo područje tijekom svoje prošlosti bilo tektonski dosta aktivno. Na području Ravne gore rasjedi su reversnog tipa, a svojim djelovanjem stvaraju različite oblike. Zanimljiv takav oblik je „pop-up“ struktura, koja nastaje kretanjem rasjeda s obje strane antiklinale (Slika 8-2)

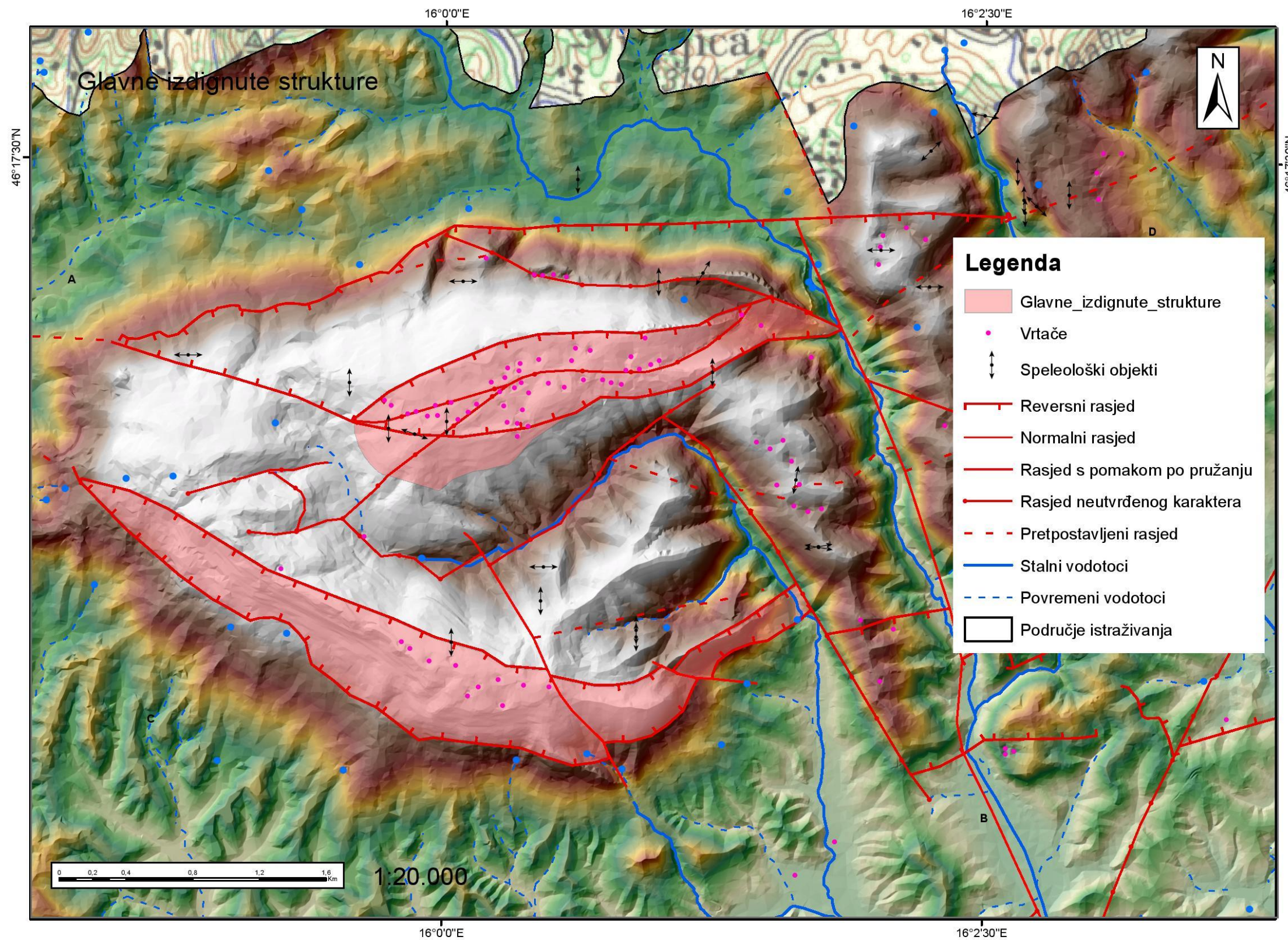


Slika 8-2. Skica „Pop-up“ structure (Gonzalez et al., 2012)

U istraživanom području na temelju položaja izvora, vrtača, špilja, jama i morfologije terena interpretirane su dvije pop-up strukture, osjenčane rozom bojom na slici 13.

Središnji i sjeveroistočni dio Ravne gore je jedna veća pop-up struktura koja je omeđena s dva reversna rasjeda. Unutar strukture izdvojeni su manji pretpostavljeni rasjedi ili rasjedi nepoznatog karaktera na temelju morfologije i strukturne interpretacije predstavljene na listovima OGK (OGK-Varždin i OGK-Rogatec). Na ovom dijelu se nalazi najveća koncentracija vrtača što ukazuje na relativno ravni teren. Veliku ulogu su imale vrtače pomoću kojih su se odredile granice rasjeda, a time i izdignuta struktura. Izdignuta struktura je omeđena rasjedima (1) Oštro-Žarovica, (4) Tri Kralja-Ravna gora, (5) Bednjica-Ravna gora. Druga „pop-up“ struktura interpretirana je u južnom i jugoistočnom dijelu Ravne gore. Vidljiva su dva reversna rasjeda koja okružuju ovaj dio terena. Ovaj dio terena je strm, što je vidljivo iz modela reljefa, a manji broj vrtača ukazuje na manji zaravnjeni dio tog područja. Izdignuta struktura omeđena je rasjedima (6) Dobovec-Meljan-Oštro i (7) Dobovec-Hudo duplje-Oštro. Uloga vrtača i speleoloških objekata je bitna radi prepoznavanja granica rasjeda koja su izdigla strukturu.

Takav raspored reversnih rasjeda lokacije vrtača, izvora i speleoloških objekata su potvrdile da se radi o izdignutoj strukturi, tj. o „pop-up“strukturi.



Slika 8-3. Glavne izdignute strukture

9. Zaključak

Građa Ravne gore i širi dio oko tog područja još u prošlosti je privlačila razne geologe na istraživanje. O Ravnoj gori pisao je Dragutin Gorjanović-Kramberger koji je istraživao sjevernu Hrvatsku. Razni geolozi su se bavili istraživanjem ugljena, geološko-naftnom problematikom, istraživanja eruptivnih stijena i tektonskim odnosima. Ivan Hećimović je u svom doktorskom radu pisao o tektonskim odnosima šireg područja Kalnika.

Cilj rada je bio geološkim, hidrogeološkim i geomorfološkim istraživačkim metodama definirati u regionalnom mjerilu geološke i hidrogeološke značajke područja Ravne gore. Korišten je računalni software ArcGis 10. Na temelju OGK listova Varaždin i Rogatec izrađena je geološka i hidrogeološka karta Ravne gore. Na temelju digitalne geološke karte i digitalnog modela reljefa izrađena je 3D geološka karta koja je korištena za izradu profila (A-B i C-D) te je time izrađen geološki uvid u podzemlje. Profili se često izrađuju za potrebe hidrogeoloških istraživanja krških područja. Pomoću topografske karte mjerila 1:25000 izdvojene su vrtače i izvori, dok su speleološki oblici izvađeni iz biospeleološkog katastra Ravne gore (ŠINCEK & OZMEC, 2002.)

U svrhu ovog rada, preklapanjem geološke karte i dobivenih izvora, vrtača i speleoloških objekata cilj je bio definirati položaje i pružanja rasjeda na istražnom području i njihov utjecaj na tok podzemne vode. Recentno aktivni rasjedi često predstavljaju privilegirane tokove podzemnih voda jer su karakterizirani razlomljenom rasjednom zonom koja je veće propusnosti od okolne stijene. Kod geološki starijih rasjeda, tokom podzemne vode dolazi do cementacije pukotina te rasjed čini zaustavu ili barijeru toku podzemne vode i na njemu se mogu javiti izvori ili nizovi izvora. Izdašnost izvora ovisit će o reljefu i klimi koji omogućuju infiltraciju oborinskih voda u podzemlje.

Modernim geološkim, hidrogeološkim i geomorfološkim istraživanjima i na temelju listova OGK – Rogatec i Varaždin i bivših istražnih radova s velikom sigurnošću se mogu interpretirati položaji i smjerovi rasjeda te njihov utjecaj na smjer toka podzemne vode bez terenskog istraživanja.

Daljnja istraživanja trebala bi se usmjeriti na terensku potvrdu predložene interpretacije, te procjene uloge rasjeda u regionalnom toku podzemne vode.

10. LITERATURA

Publicirani radovi:

1. ANIČIĆ, B., JURIŠA, M. (1983.): Osnovna geološka karta SFRJ, 1: 100 000. List Rogatec L 33-68, Beograd
2. ANIČIĆ, B., JURIŠA, M. (1983.): Tumač za list OGK – Rogatec L 33-68, Beograd.
3. CHEN, L., KHAN, S. (2009): Geomorphologic features and tectonic activities in sub-Himalayan thrust belt, Pakistan, from satellite data; Computers and Geosciences, University of Houston.
4. FOSSEN, H. (2010): Structural Geology; University of Bergen, Norway; Cambridge University Press
5. GRAHAM, P. (2012): Introducing Tectonics, Rock Structures and Mountain Belts; Dunedin Academic Press Ltd, Edinburgh, Scotland
6. GONZALEZ D., PINTO, L., PENA M., ARRIAGADA, C. (2012.): 3D deformation in strike-slip systems: Analogue modelling and numerical restoration, Andean Geology 39 (2): 295-316, Geologica de Chile
7. HEČIMOVIĆ, I. (1995.): Tektonski odnosi šireg područja Kalnika, disertacija, Zagreb.
8. MAYER, D., DRAGIČEVIĆ, I., URUMOVIĆ, K. (1994.): Analiza i reinterpretacija rezultata hidrogeoloških istraživanja na području općine Križevci, Hidroproeekt-ing, Zagreb
9. PERIĆ, M. (2007): Englesko hrvatski emciklopedijski rječnik istraživanja i proizvodnje nafte i plina; svučilišni priručnik, Zagreb
10. SINGHAL, B.B.S., GUPTA, R.P. (2010): Applied Hydrogeology of Fractured Rocks, Second Edition, Springer, 13-35 str.
11. SUPPE, J. (1985): Principles of Structural Geology; Department of Geological Sciences; Prentice-Hall, New Jersey.

12. ŠESTANOVIĆ, S. (1993.): Osnove inženjerske geologije. Udžbenici sveučilišta u Splitu.
13. ŠIMUNIĆ, A., PIKIJA, M., HEČIMOVIĆ, I. (1982.): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000, list Varaždin L 33-69, Beograd.
14. ŠIMUNIĆ, AL., ŠIMUNIĆ, AN (1980.): Petrografski sastav i geneza trijaskih naslaga Ivanščice, Kalnika i Ravne gore; Geološki vjesnik, 32, Zagreb, 243-253 str.
15. ŠIMUNIĆ, A., PIKIJA, M., HEČIMOVIĆ, I. (1982.): Tumač za list OGK – Varaždin L 33-69, Beograd.
16. ŠIMUNIĆ, AN., ŠIMUNIĆ, AL., (1997.): Triassic Deposits of Hrvatsko Zagorje, Geologica Croatica, 50/2, 2 Figs, Zagreb, 243-250 str.
17. ŠIMUNIĆ, A., (2006.): Geološke osobitosti hrvatskog Zagorja, Zagreb

Elaborati:

1. DRAGIČEVIĆ, I, BLAŠKOVIĆ, I., MAYER, D., ŽUGAJ, R., TOMLJENOVIĆ, B. (1997): Gorski i prigorski vodonosnici sjeverne Hrvatske (izvješće o radovima u 1996. godini). Fond stručne dokumentacije RGNF, Zagreb
2. DRAGIČEVIĆ, I. (2002.): „Gorski i Prigorski vodonosnici sjeverne hrvatske“, Izvješće o radovima za 2002. godinu, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
3. DRAGIČEVIĆ, I. (2014): Hidrogeološka potencijalnost gorskih i prigorskih vodonosnika sjeverne Hrvatske, RGNF, Zagreb
4. OZIMEC, R., ŠINCEK, D., BEDEK, J., LUKIĆ, M. (2008): Izrada speleološkog i biospeleološkog katastra Ravne Gore, Hrvatsko biospeleološko društvo, Županija varaždinska, Hrvatska, 18-68 str.

www izvori:

1. <http://www.geografija.hr/hrvatska/hrvatsko-zagorje/> (24.6. 2015., 12:31)
2. <http://geoportal.dgu.hr/> (3.7.2015., 20:10)
3. <http://www.hps.hr/info/hrvatski-vrhovi/ravna-gora-vrh-piramida/> (5.7.2015.,09:17)